

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**Fractal or multi-fractal aerals.**

Patent Number: ES2112163

Publication date: 1998-03-16

Inventor(s): GARCIA FAURA XAVIER (ES); POUS ANDRES RAFAEL (ES); PUENTE BALIARDA CARLES (ES); ROMEU ROBERT JORDI (ES)

Applicant(s): UNIV CATALUNYA POLITECNICA (ES)

Requested  
Patent: ☐ ES2112163Application  
Number: ES19950001019 19950519Priority Number  
(s): ES19950001019 19950519IPC  
Classification: H01Q1/36; H01Q5/00


EC Classification:

Equivalents:

---

**Abstract**

---

Fractal or multi-fractal aerals. Aerial consisting of a conductor or superconductor material body characterized by each of its parts having the same and/or similar form to the overall structure of the object, but at a different level of scale. In the physical version it consists of abstract mathematical objects known as fractals or truncated multi-fractals, which may display a multifrequency behaviour according to the number of operating bands or frequencies and the separation between them. 

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



① Número de publicación: **2 112 163**

② Número de solicitud: 9501019

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>: H01Q 1/36

H01Q 5/00

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: 19.05.95 .

④ Fecha de publicación de la solicitud: 16.03.98

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:  
16.03.98

⑦ Solicitante/s:  
Universitat Politècnica de Catalunya  
Av. Doctor Gregorio Marañón s/n  
08028 Barcelona, ES

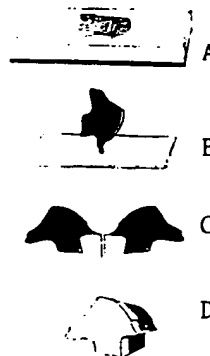
⑦ Inventor/es: **Puente Baliarda, Carles;**  
**Pous Andrés, Rafael;**  
**Romeu Robert, Jordi y**  
**García Faura, Xavier**

⑦ Agente: No consta

⑤ Título: **Antenas fractales o multifractales.**

⑤ Resumen:

Antenas fractales o multifractales.  
Antena constituida por un cuerpo material conductor o superconductor caracterizado porque cada una de las partes que la componen tiene una forma igual y/o similar a la estructura global del objeto, pero a un nivel de escalado distinto. Consiste en la versión física de los objetos abstractos matemáticos conocidos como fractales o multifractales truncados y que puede presentar un comportamiento multifrecuencia en función del número de bandas o frecuencias de operación y la separación entre ellas.



ES 2 112 163 A1

## DESCRIPCION

Antenas fractales o multifractales.  
Sector de la técnica  
Radiocomunicaciones  
Estado de la técnica

Las antenas empezaron a desarrollarse a finales del siglo pasado a partir de que James C. Maxwell en 1864 postulara las leyes fundamentales del electromagnetismo. Debe atribuirse a Heinrich Hertz en 1886 el invento de la primera antena con la que demostraba la transmisión en el aire de las ondas electromagnéticas. A principios de los años sesenta aparecen las primeras antenas independientes de la frecuencia (E.C. Jordan, G.A. Deschamps, J.D. Dyson, P.E. Mayes, "Developments in broadband Antennas", IEEE Spectrum, vol.1, pp. 58-71, Apr. 1964; V.H. Rumsey, "Frequency-Independent Antennas", New York Academic, 1966; R.L. Carrel, "Analysis and design of the log-periodic dipole array", Tech.Rep. 52, Univ. Illinois Antenna Lab., Contract AF33(616)-6079, Oct 1961; P.E. Mayes, "Frequency Independent Antennas and Broad-Band Derivatives Thereof", Proc. IEEE, vol.80, no.1, Jan 1992). Proponiéndose hélices, espirales, conos y agrupaciones logoperiódicas para la realización de antenas de banda ancha.

Por otra parte, debe atribuirse a B.B. Mandelbrot en su libro *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freeman and Cia., 1983, la acuñación de los términos fractal y multifractal en su estudio matemático formal. La reflexión de ondas electromagnéticas en algunos objetos fractales ha sido estudiada posteriormente por varios autores: D.W. Jaggard "On Fractal Electrodynamics" en el libro *Recent Advances in Electromagnetic Theory*, Springer-Verlag 1992, D.L. Jaggard and T. Spielman en "Triadic Cantor Target Diffraction", Microwave and Optical Tech. Lett., vol.5, no.9, 1992. También se describe en el artículo Y. Kim and D.L. Jaggard "The Fractal Dipole Array", Proc. IEEE, vol.71, no.9, septiembre 1983, la aplicación fractal de antenas (que no una agrupación de antenas fractales) para la síntesis de una agrupación aleatoria cuyo Nivel de Lóbulo Principal a Secundario (NLPS) puede ser menor al de las agrupaciones aleatorias habituales.

## Breve descripción de la invención

Dispositivo que radia y capta ondas electromagnéticas y cuya forma es la de un fractal o multifractal truncado. Se entiende como fractal truncado la versión físicamente realizable de los objetos abstractos matemáticos conocidos como fractales. El dispositivo está constituido esencialmente por un cuerpo de material conductor o superconductor cuya forma es fractal. Al acoplar el cuerpo fractal a un generador se inducen en su superficie corrientes eléctricas que radian campos electromagnéticos. El objeto fractal pues, facilita la transición de las ondas electromagnéticas desde un generador que no radia o lo hace muy ineficientemente, hasta el medio por el cual se transmitirán las ondas.

Las características fundamentales de este tipo de antenas son:

- la forma fractal
- el comportamiento electromagnético deri-

vado de su forma fractal.

El hecho de que la forma del cuerpo radiante sea fractal puede proporcionarle a la antena algunas características únicas que la distinguen de otras antenas. En primer lugar, las antenas fractales pueden presentar un comportamiento independiente de la frecuencia. Si bien existen ya antenas o agrupaciones independientes de la frecuencia, la utilización de formas fractales en el diseño de la antena otorga una mayor libertad al diseñador para controlar otros parámetros de la antena de banda ancha tales como: directividad, anchura del lóbulo principal, NLPS, adaptación y eficiencia radiadora de la antena. En segundo lugar las antenas fractales pueden presentar un comportamiento multifrecuencia: sus parámetros principales de radiación son muy similares en un conjunto discreto de regiones o bandas del espectro radioeléctrico, lo cual permite restringir o extender el proceso radiativo a dichas regiones o bandas.

Otra ventaja fundamental es que dado que las formas fractales son muy diversas y pueden imitar en muchos casos las formas que se dan en la naturaleza, estas antenas serían especialmente adecuadas para ser utilizadas en entornos en los que, ya sea por motivos estéticos, de discreción, camuflaje o impacto visual o ambiental, se requieran formas alternativas a la de las antenas tradicionales.

## Esquema explicativo del dispositivo

La figura 1 describe algunas de las posibles configuraciones de una antena fractal. En particular se describen la configuraciones tipo parche, monopolo, dipolo y bocina.

## Descripción detallada de la invención

Las antenas son dispositivos cuyo comportamiento es altamente dependiente de la frecuencia. Para que una antena radie eficientemente y con un diagrama de radiación bien conformado (con un buen NLPS y sin lóbulos de difracción importantes), el tamaño característico de la antena debe ser del orden de la longitud de onda  $\lambda$  en que opera (típicamente  $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$ ). Según la configuración de la antena, dicho tamaño característico será la longitud total de la antena (caso dipolo), de un semibrazo (caso monopolo), o el diámetro máximo de una superficie (caso apertura o parche). En el caso de una agrupación de antenas, dicho tamaño característico sería el espaciado entre las antenas de la agrupación. Esta dependencia con la longitud de onda supone una restricción muy importante cuando se pretende diseñar una antena de banda ancha o multibanda, es decir, que opere a distintas frecuencias: una vez fijado su tamaño característico, un cambio significativo en la longitud de onda de operación se traducirá en una desadaptación entre tamaño y  $\lambda$  y por lo tanto, en un mal comportamiento de la antena.

Los fractales y los multifractales son objetos autosimilares. Ello significa que su forma se mantiene similar cuando aplicamos al objeto una transformación de escalado, o dicho de otra manera, no poseen tamaño característico. Cuando examinamos las distintas partes que componen un objeto fractal, cada una de estas partes tiene una forma igual o similar a la estructura global del objeto, pero a un nivel de escala distinto.

Esta autosimilitud es precisamente la característica que posibilita a una antena fractal presentar un comportamiento multifrecuencia. Cuando, por ejemplo, se disminuye la longitud de onda de operación, las subestructuras de tamaño inferior que componen el objeto fractal se adaptarán a la nueva longitud de onda con lo cual el objeto podrá radiar eficientemente. Este comportamiento se repetirá a tantas longitudes de onda como escalas distintas presente el fractal. En un fractal ideal, ello significaría un conjunto infinito de longitudes de onda. En un fractal real, la resolución del sistema de implementación obligará a truncar el objeto, limitando la escala mínima del nivel de detalle de la estructura, y con ello, la frecuencia máxima de operación de la antena.

Básicamente dos parámetros definirán a la antena en cuanto a su comportamiento multifrecuencia: el número de bandas o frecuencias de operación y el espaciado entre ellas. El número de bandas será igual al número de escalas en que el fractal real sea autosimilar. En una estructura fractal generada de forma iterativa, el número de escalas coincidirá con el número de iteraciones implementadas. Según la precisión que se desee en el comportamiento entre bandas, típicamente se incorporarán niveles de escala adicionales para que la antena opere similarmente en las bandas extremas.

La separación entre bandas dependerá de un parámetro conocido como logoperiodo. El logoperiodo  $\delta$  se relaciona con la dimensión fractal  $D$  y el número de subestructuras de primer orden  $N$  según la expresión

$$D = \frac{\log(N)}{\log(\delta)}$$

Dado un logoperiodo  $\delta$  la antena presentará un comportamiento similar a frecuencias espaciadas por un factor multiplicativo, es decir,  $f, f/\delta, f/\delta^2, \dots$ . Si el logoperiodo es suficientemente grande, las bandas estarán espaciadas formando un conjunto de regiones inconexas en las que la antena presentará un comportamiento adiccionado. En este caso hablaremos de antena multibanda. Si el logoperiodo es pequeño, las bandas se solaparán y la antena podrá presentar un comportamiento de banda ancha. La elección del número de bandas (iteraciones) y su espaciado (logoperiodo o logoperiodos según la antena sea fractal o multifractal) dependerá de la aplicación concreta de la antena y condicionará el tipo de fractal a utilizar.

Las aplicaciones de las antenas fractales pueden ser varias. A destacar, aquellos sistemas de comunicaciones o de teledetección que requieran diversidad en frecuencia: sistemas de comunicaciones móviles, radioenfoces, radares, y en general, sistemas que utilicen técnicas de espectro ensanchado (spread spectrum). También podrán utilizarse en sistemas de banda estrecha en los que sea ventajoso, por motivos estéticos o de discreción, otorgarle a la antena una forma fractal. **Exposición detallada de un modo de funcionamiento**

La antena de Sierpinsky es un ejemplo de antena fractal multibanda. Su nombre proviene de

la familia de estructuras fractales en que se basa: las alfombras de Sierpinsky. Este modelo concreto ha sido escogido para el análisis por su similitud a las antenas triangulares (Bow-Tie) cuyo comportamiento es ampliamente conocido.

En la figura 2 puede observarse con detalle la forma del cuerpo fractal de la antena. Básicamente, la estructura de Sierpinsky consta de tres subestructuras ( $N=3$ ) que, a su vez, son también alfombras de Sierpinsky. Por lo tanto, cada una de estas subestructuras contiene también tres subestructuras mas pequeñas que son también alfombras de Sierpinsky, y así sucesivamente. Se han implementado dos prototipos de la antena con cuatro y cinco iteraciones. Ello implica que la antena mantiene sus propiedades de similitud hasta cinco escalas distintas o equivalentemente, que la antena funcionará a cinco bandas distintas. Entre cada iteración y la siguiente hay un factor de escala 1:2. Es decir, en cada subestructura las dimensiones de la alfombra son la mitad que en la etapa (nivel de escala) superior. Ello implica que el logoperiodo es  $\delta=2$  y que la antena presentará un comportamiento similar a frecuencias  $f, 2f, 4f, 8f, \dots$  y  $16f$ .

Se han realizado varios prototipos de este caso particular de antena fractal. La configuración escogida a sido la de un monopolo (fig. 1) y se han ensayado distintos soportes para la estructura. El primer prototipo se realizó soldando triángulos de latón en cuatro niveles de escala distintos (ver geometría y dimensiones en la figura 3). Para comparar su funcionamiento con el de la antena triangular también se construyeron cuatro prototipos de antenas triangulares a cuatro escalas distintas (fig. 4). Se procedió posteriormente a medir la adaptación de las antenas (su impedancia de entrada) en un analizador de redes vectorial HP 8510 B, obteniéndose los resultados que se muestran en las figuras 5, 6, 7 y 8. De estos resultados pueden derivarse las siguientes conclusiones:

1) La antena de Sierpinsky presenta claramente tantas bandas como iteraciones presenta el cuerpo fractal.

2) Dichas bandas están separadas en frecuencia por un factor multiplicativo  $\delta=2$ .

3) La impedancia de entrada (y por tanto la adaptación) de la antena de Sierpinsky es similar, en cada una de las bandas, a la de la antena triangular que le corresponde.

4) La antena presenta adaptaciones (referidas a 50Ω) superiores a 15 dB en cada una de las bandas, y lo hace cuando  $h/\lambda$  vale aproximadamente 0.25, siendo  $h$  la altura del triángulo al nivel de escala correspondiente y  $\lambda$  la longitud de onda en el vacío. La cancelación de la componente reactiva de la impedancia de entrada (resonancia) se produce también dentro de cada uno de las bandas alrededor de  $h/\lambda=0.25$ . La desviación respecto a este valor es más apreciable en los extremos de la banda, donde el truncamiento de la recursión fractal limita la autosimilitud de la estructura.

El siguiente prototipo de antena Sierpinsky se construyó sobre un sustrato Cuclad 217 utilizando tecnologías de circuito impreso (ver geometría y dimensiones en la figura 9). En este caso se definió la estructura en cinco niveles de escala

distintos lo cual se traduce en un comportamiento similar en cinco bandas. Los resultados expuestos en las figuras 10, 11, 12 y 13 son coherentes con las del caso anterior.

#### Descripción de los dibujos

1 - Algunas configuraciones posibles para una antena fractal (antena parafita (A), monopolo (B), dipolo (C), bocina (D), etc.)

fig. 2 - Forma básica utilizada para implementar el cuerpo fractal de la antena, en triángulos de Sierpinsky.

fig. 3 - Prototipo de antena fractal. Presenta cuatro niveles de escala (cuatro bandas distintas). Los triángulos en negro representan los ángulos de latón soldados entre sí por los vértices.

fig. 4 - Esquema de las cuatro antenas triangulares medidas cuyo comportamiento se comparará al de la antena de Sierpinsky (derecha) implementada con cuatro iteraciones.

fig. 5 - Comparación entre la parte real de la impedancia de entrada de las cuatro antenas triangulares (Bow-Tie) y la de la antena de Sierpinsky. Nótese en la gráfica inferior (antena Sierpinsky) las cuatro regiones o bandas de impedancia máxima espaciadas por un factor multiplicativo 2.

fig. 6 - Comparación entre la reactancia a la entrada de las cuatro antenas triangulares (Bow-Tie) y la de la antena de Sierpinsky. Nótese en la gráfica inferior (antena Sierpinsky) las cuatro regiones (bandas) de impedancia máxima espaciadas por un factor multiplicativo 2.

fig. 7 - Comparación entre el coeficiente de re-

flexión a la entrada de las cuatro antenas triangulares (Bow-Tie) y la de la antena de Sierpinsky. Nótese en la gráfica inferior (antena Sierpinsky) las cuatro regiones (bandas) de impedancia máxima espaciadas por un factor multiplicativo 2.

fig. 8 - Detalle de los parámetros de entrada de la antena de Sierpinsky de la fig. 3.

fig. 9 - Antena fractal de Sierpinsky construida sobre sustrato Cuclad 217 y que incorpora cinco niveles de escala o iteraciones.

fig. 10 - Comparación entre la parte real de la impedancia de entrada de las cinco antenas triangulares (Bow-Tie) y la de la antena de Sierpinsky. Nótese en la gráfica inferior (antena Sierpinsky) las cinco regiones o bandas de impedancia máxima espaciadas por un factor multiplicativo 2.

fig. 11 - Comparación entre la reactancia a la entrada de las cinco antenas triangulares (Bow-Tie) y la de la antena de Sierpinsky. Nótese en la gráfica inferior (antena Sierpinsky) las cinco regiones o bandas de impedancia máxima espaciadas por un factor multiplicativo 2.

fig. 12 - Comparación entre el coeficiente de reflexión a la entrada de las cinco antenas triangulares (Bow-Tie) y la de la antena de Sierpinsky. Nótese en la gráfica inferior (antena Sierpinsky) las cinco regiones (bandas) de impedancia máxima espaciadas por un factor multiplicativo 2.

fig. 13 - Detalle de los parámetros de entrada de la antena de Sierpinsky de la fig.9.

## REIVINDICACIONES

1. Antena constituida por un cuerpo material conductor o superconductor caracterizado porque contiene subestructuras de forma igual y/o similar a la estructura global del objeto, pero a nivel de escalado distinto. La estructura global de la antena es la de un objeto autosimilar consistente en la version reducida de los objetos geométricos conocidos como fractales o multifractales.

2. Antena constituida por un cuerpo material conductor o superconductor según reivindicación 1, **caracterizado** porque en casos preferidos presenta un comportamiento multifrecuencia o de banda ancha en función del número de niveles de escalado en que se repite la forma global del objeto. Cada nivel de escalado se asocia con una banda o longitud de onda distinta.

3. Antena constituida por un cuerpo material conductor o superconductor según reivindicación 1, **caracterizado** porque la forma corresponde al fractal denominado alfombra triángulos del Sier-

pinsky.

4. Antena constituida por un cuerpo material conductor o superconductor según reivindicación 1, **caracterizado** porque su configuración es del tipo monopolo.

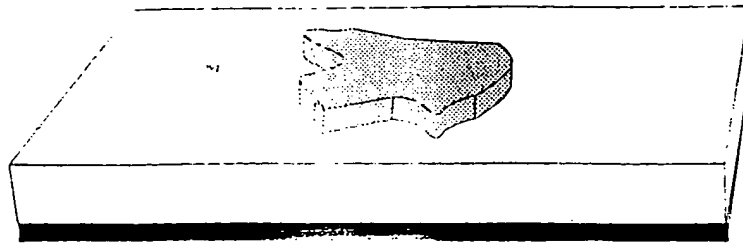
5. Antena constituida por un cuerpo material conductor o superconductor según reivindicación 1, **caracterizado** porque su configuración es del tipo dipolo.

6. Antena constituida por un cuerpo material conductor o superconductor según reivindicación 1, **caracterizado** porque su configuración es del tipo parche.

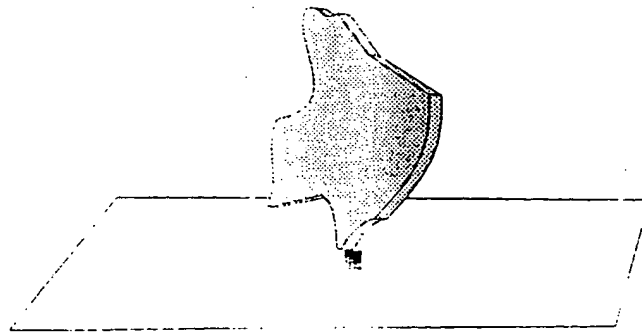
7. Antena constituida por un cuerpo material conductor o superconductor según reivindicación 1, **caracterizado** porque su configuración es del tipo bocina.

8. Antena constituida por un cuerpo material conductor o superconductor según reivindicación 1, **caracterizado** porque su configuración es del tipo reflector.

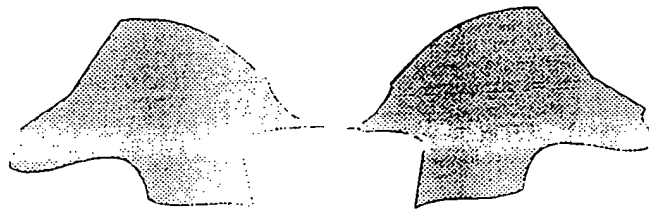
9. Antenas fractales o multifractales.



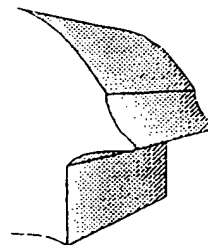
A



B



C



D

FIG. 1



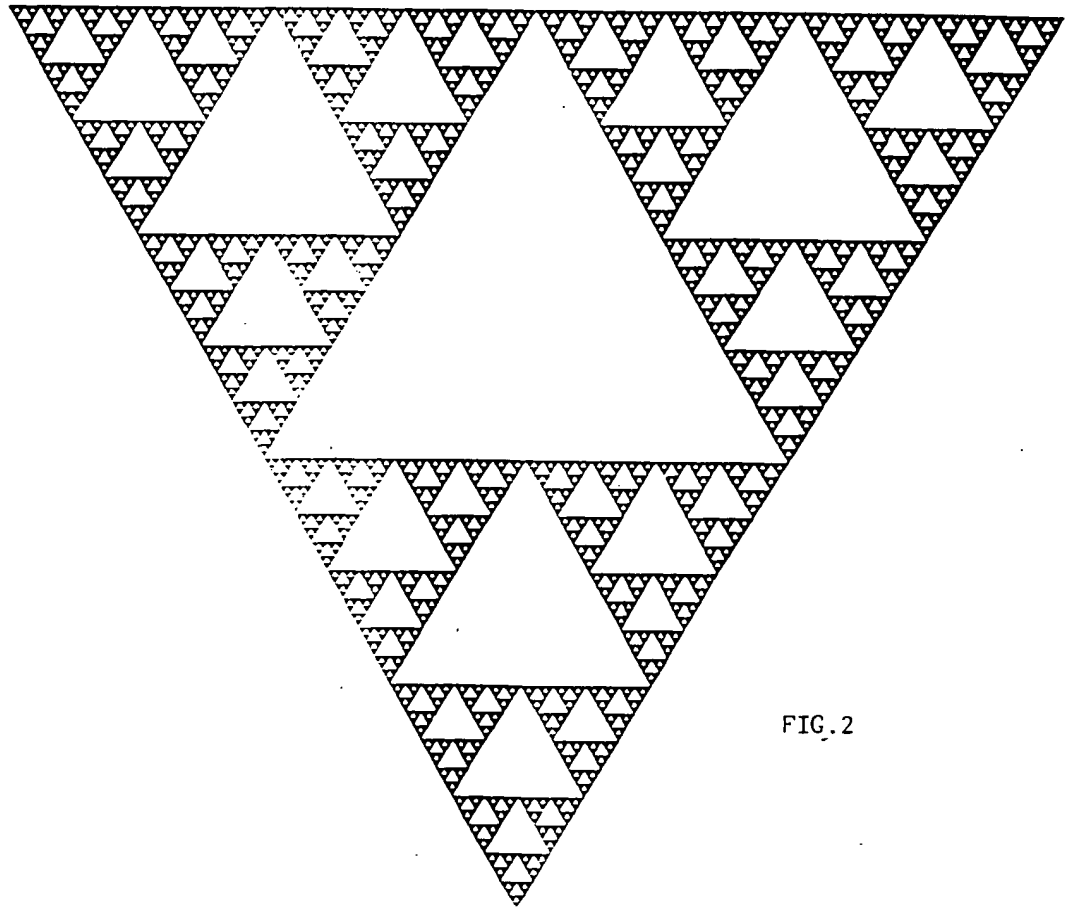


FIG. 2

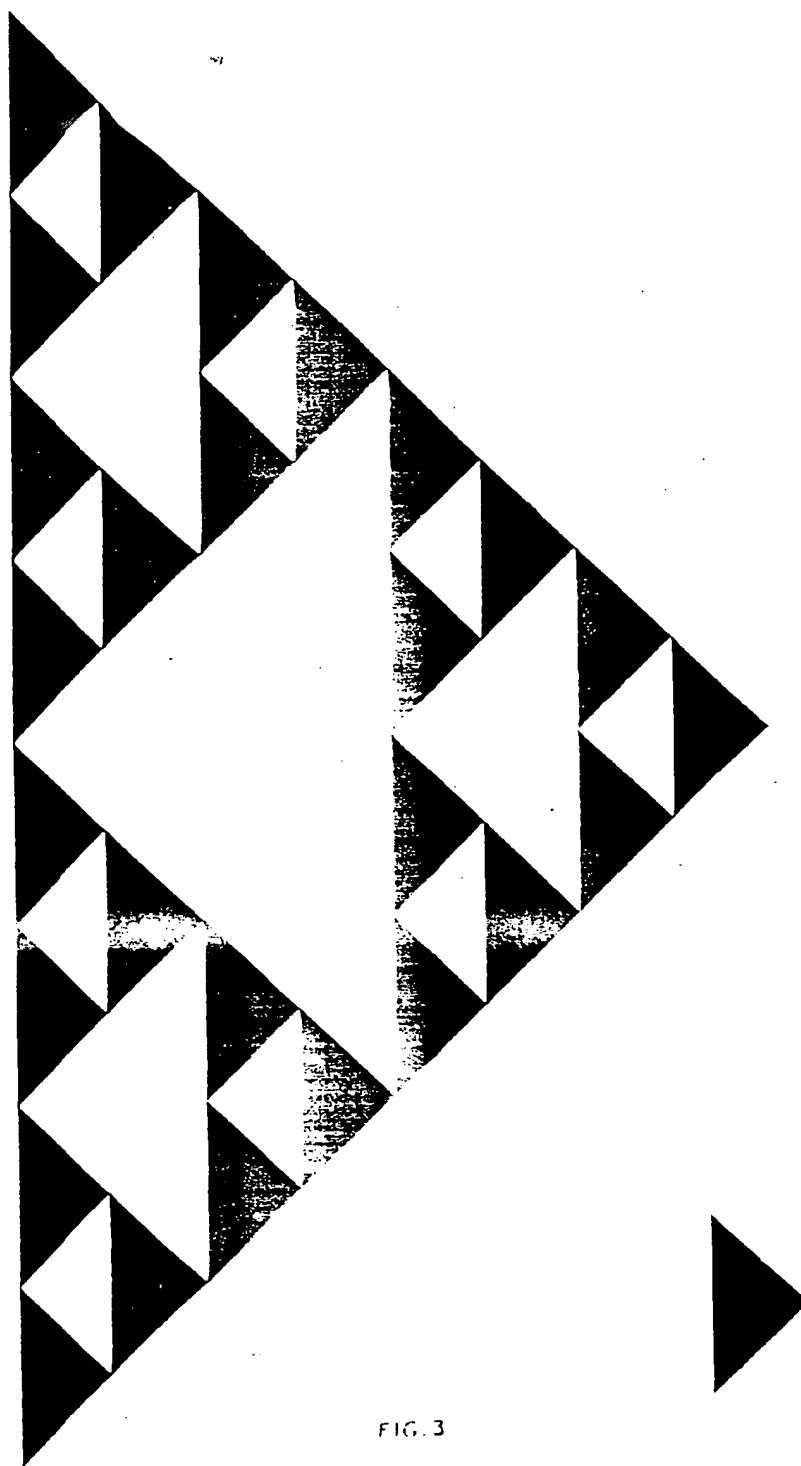


FIG. 3

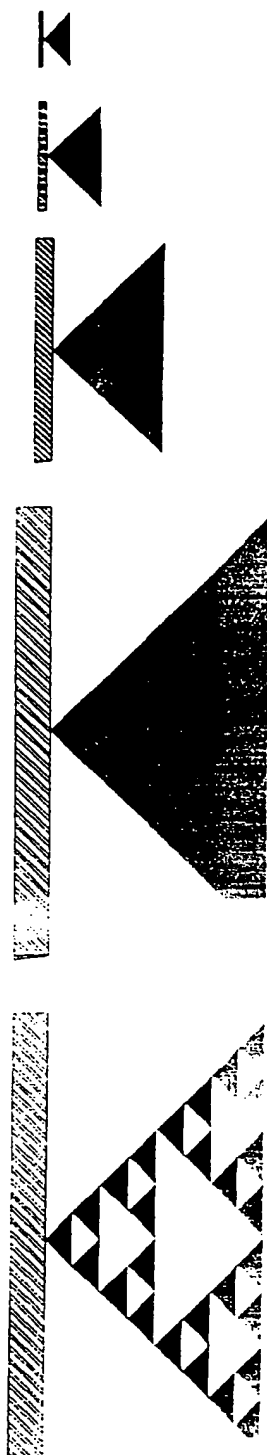


FIG. 4

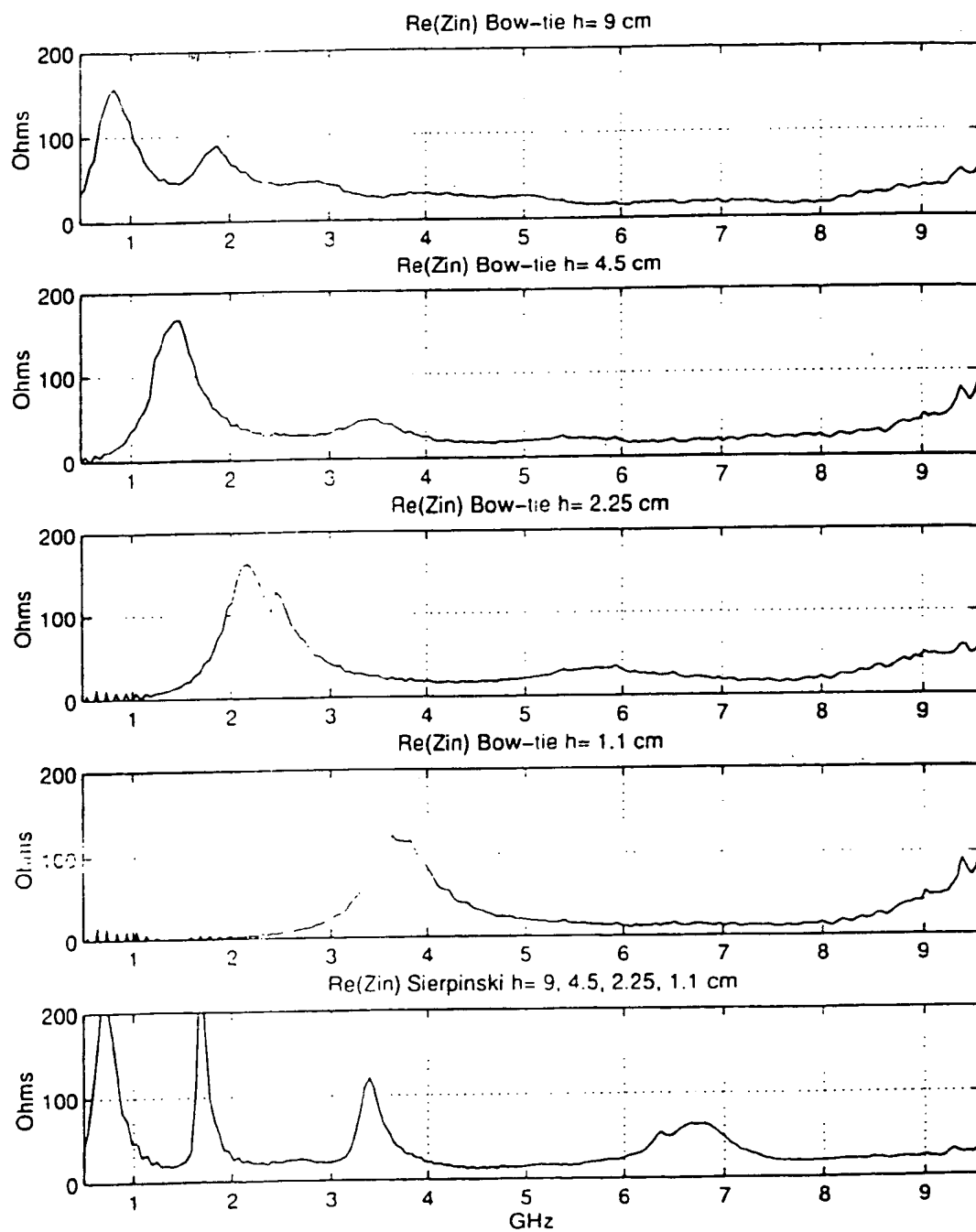


FIG. 5

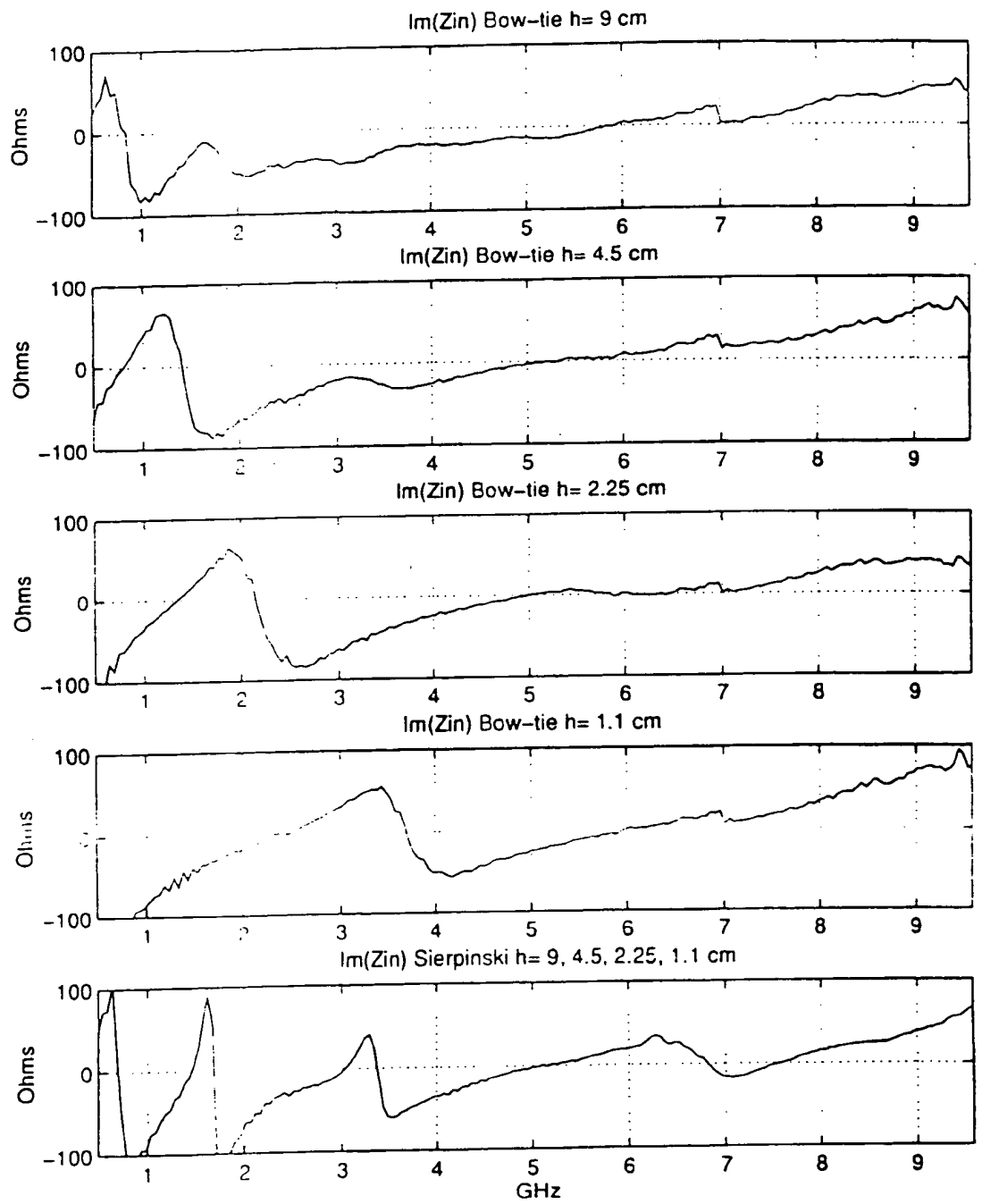
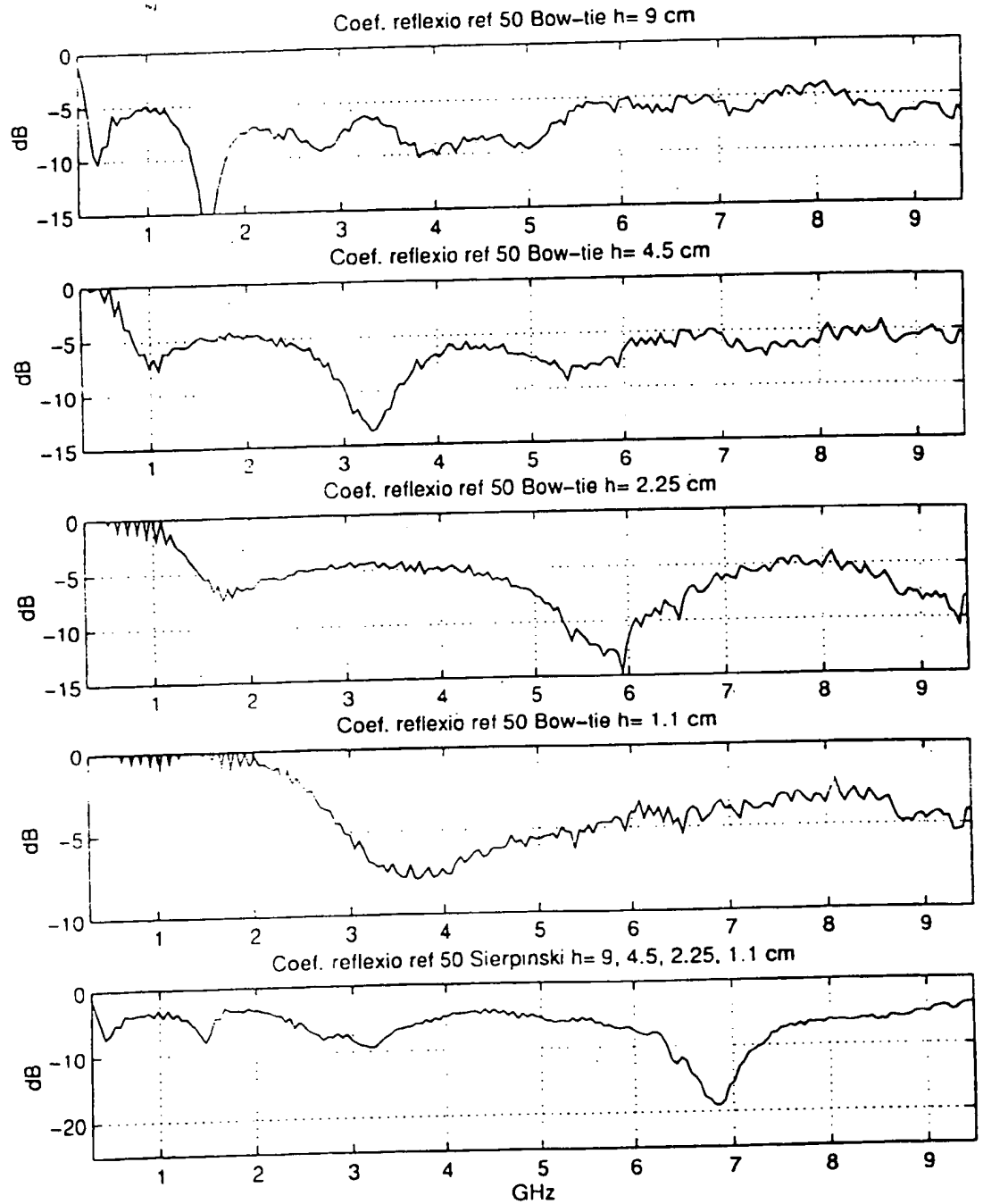


FIG. 6



ES 2 112 163 A1

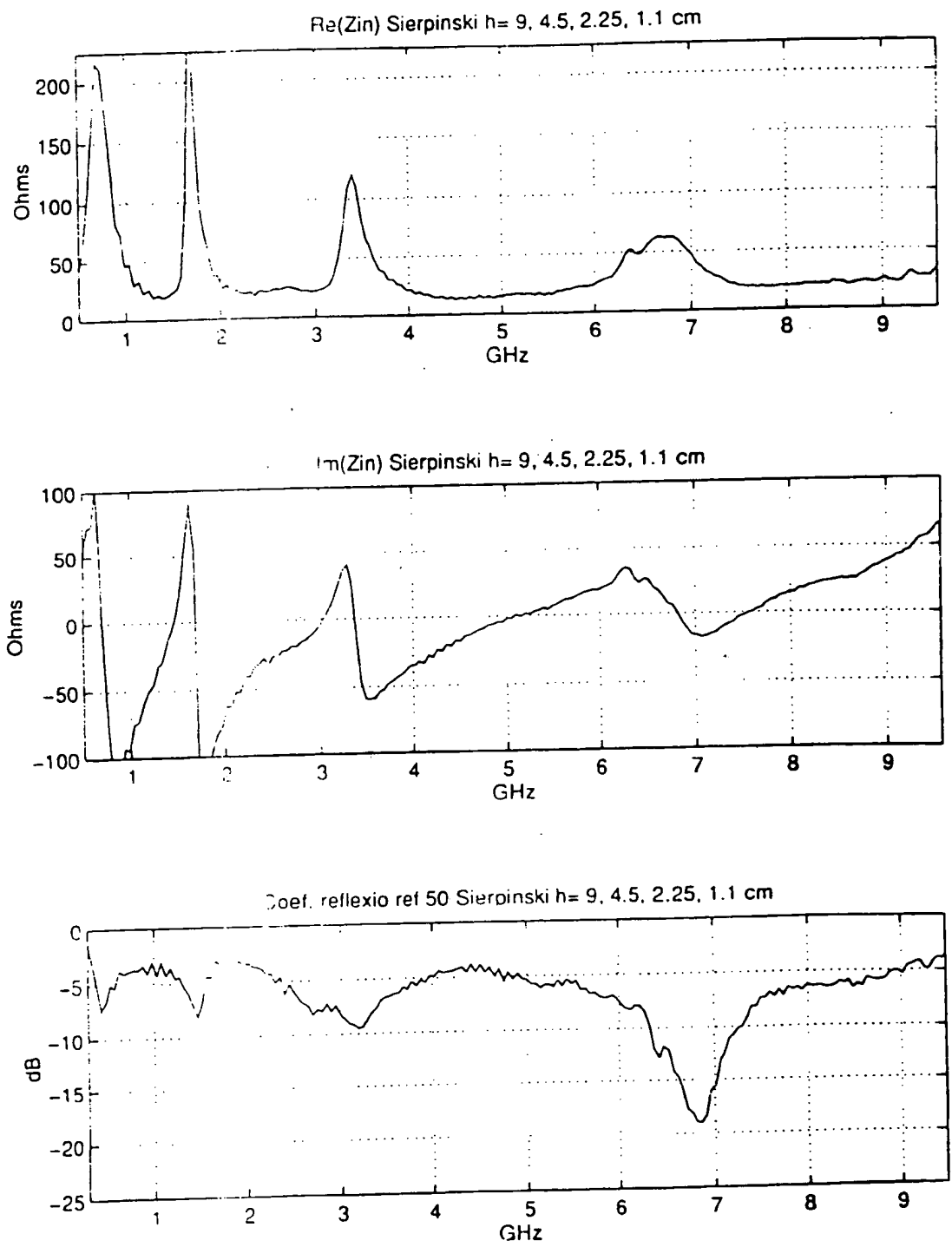


FIG. 8

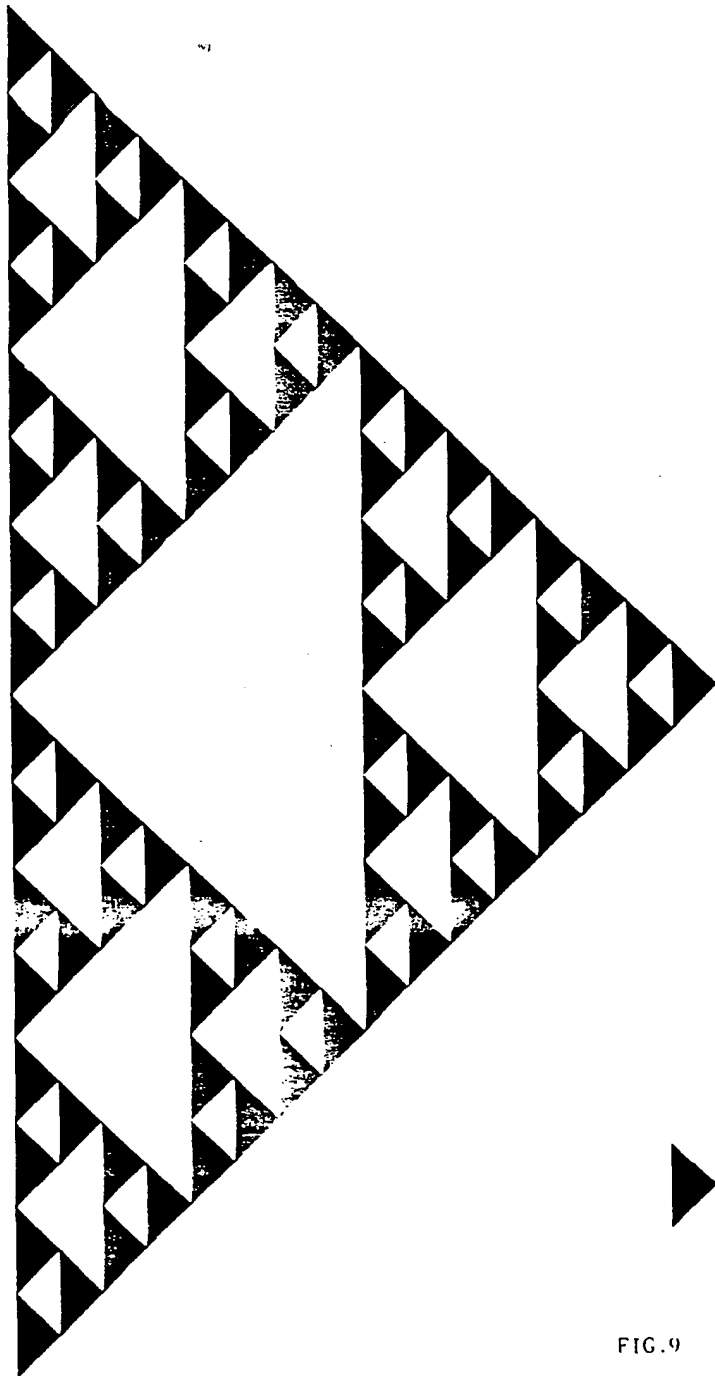


FIG. 9



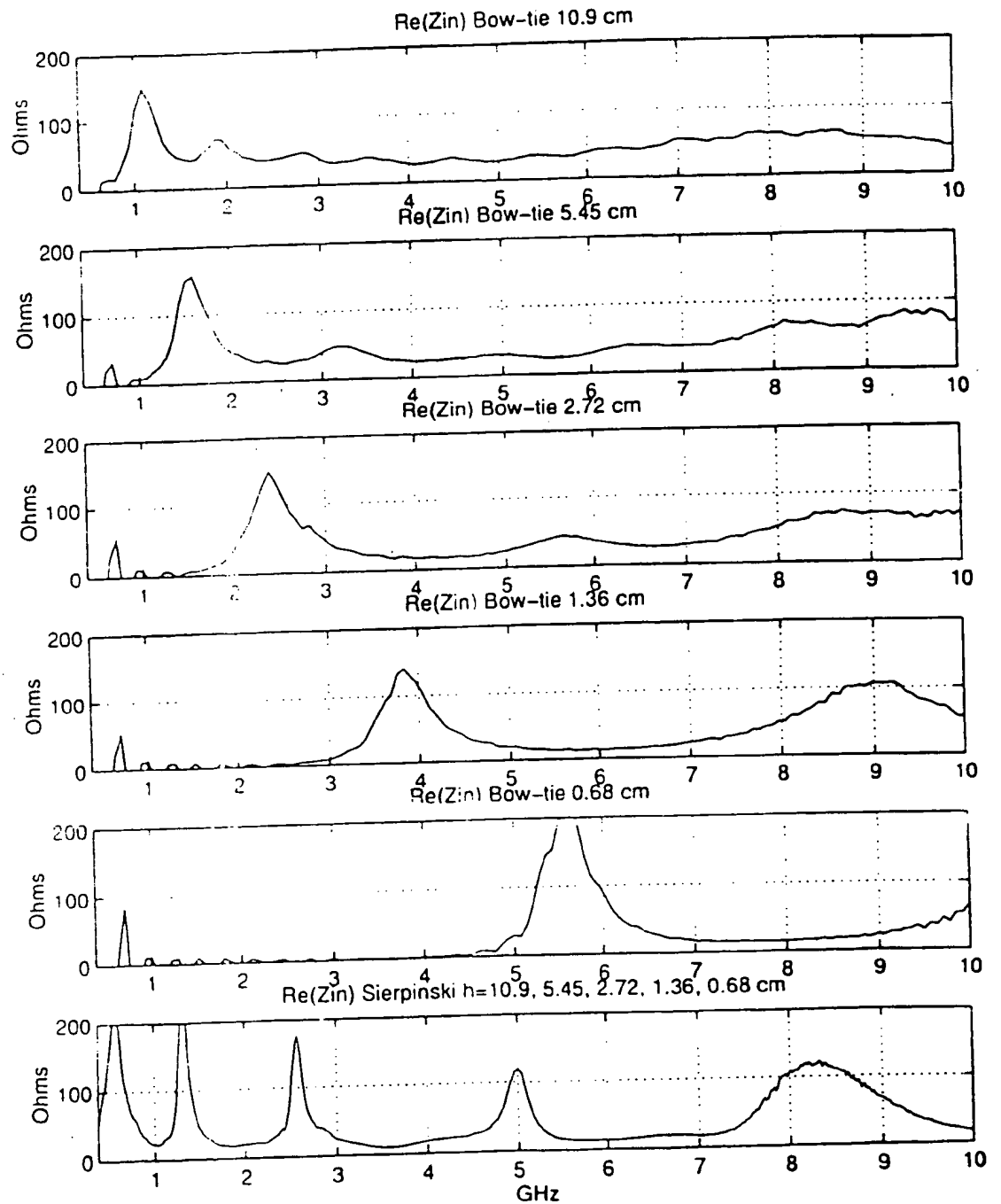


FIG. 10

ES 2 112 163 A1

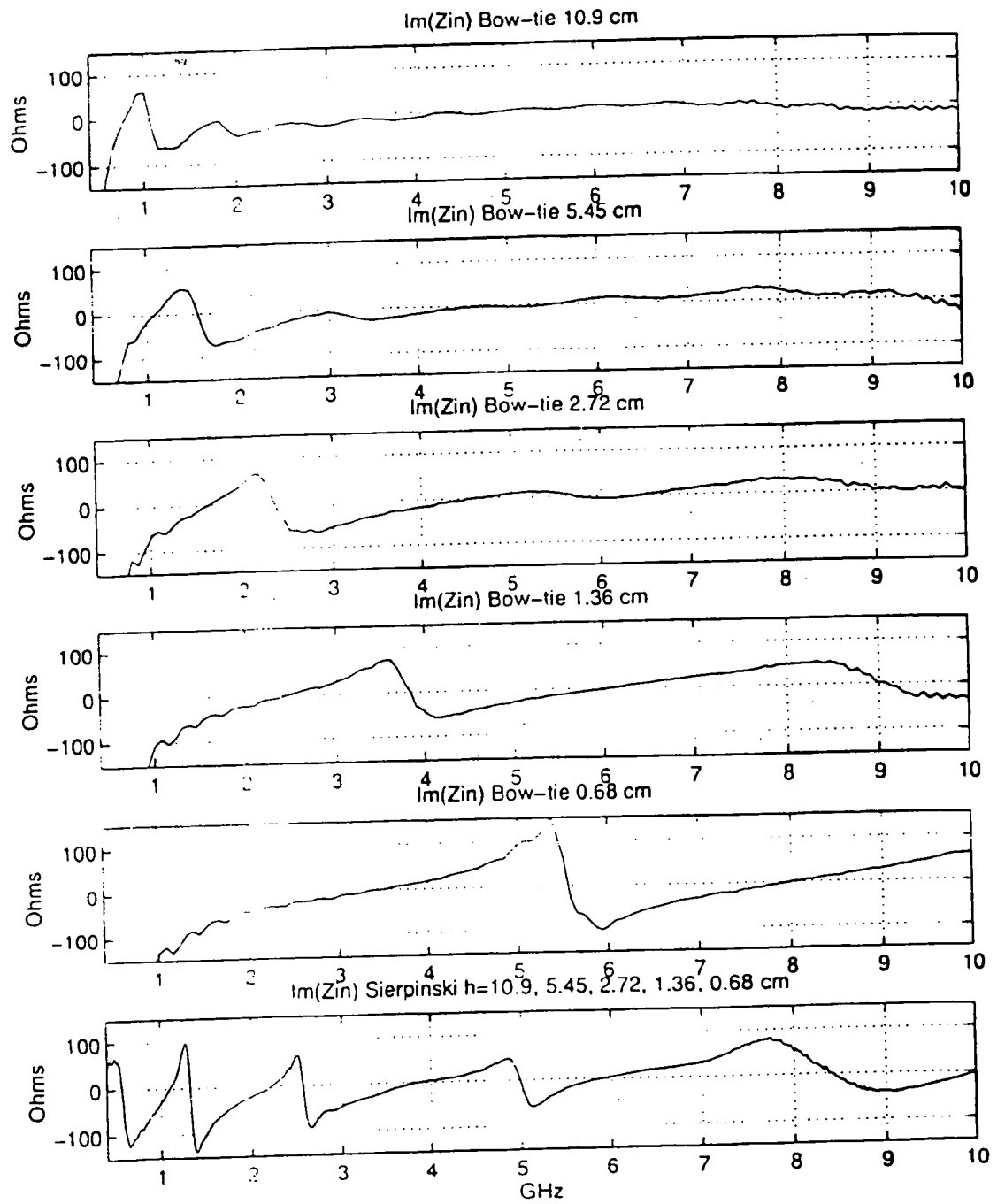


FIG.11

ES 2 112 163 A1

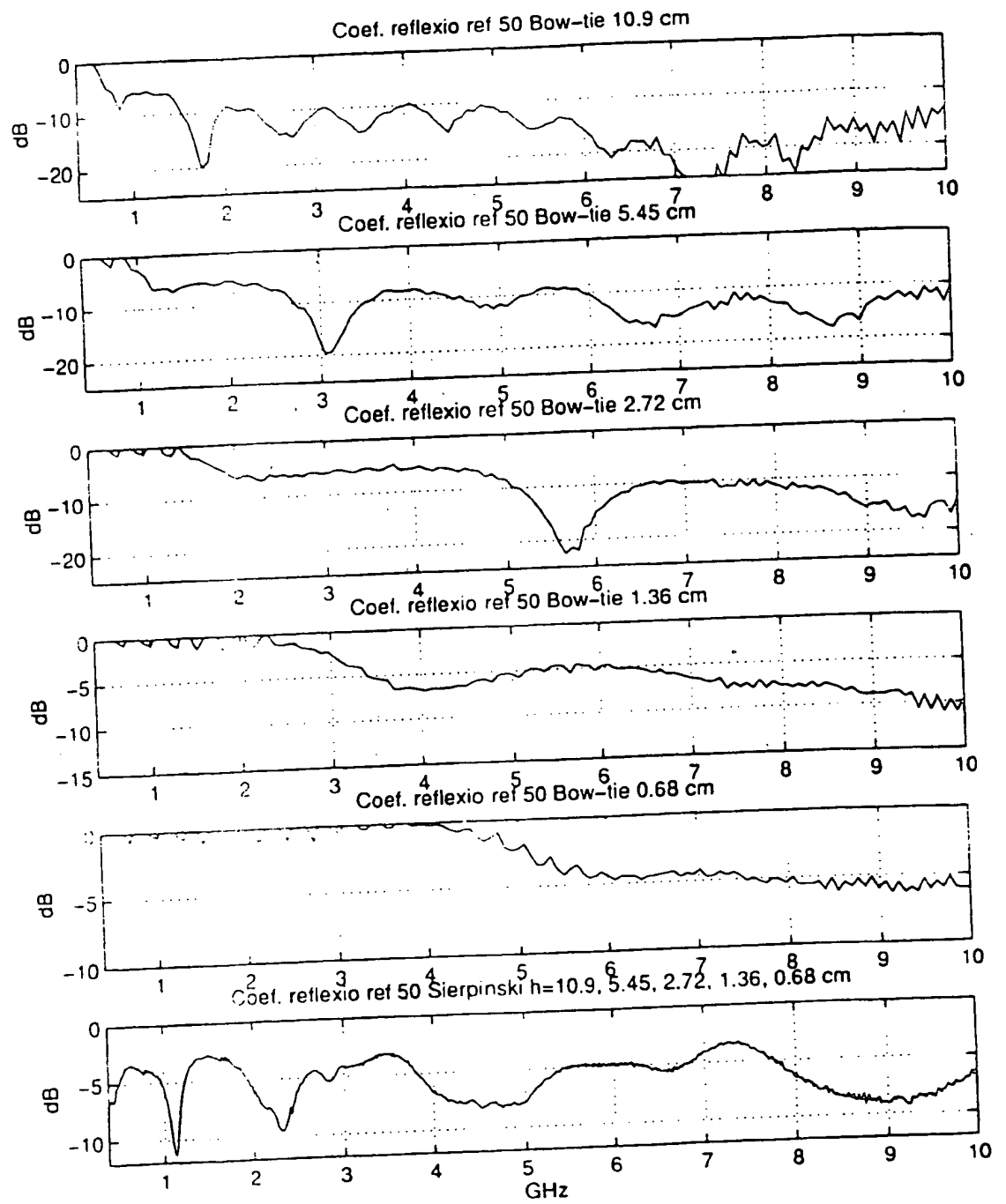


FIG:12

ES 2 112 163 A1

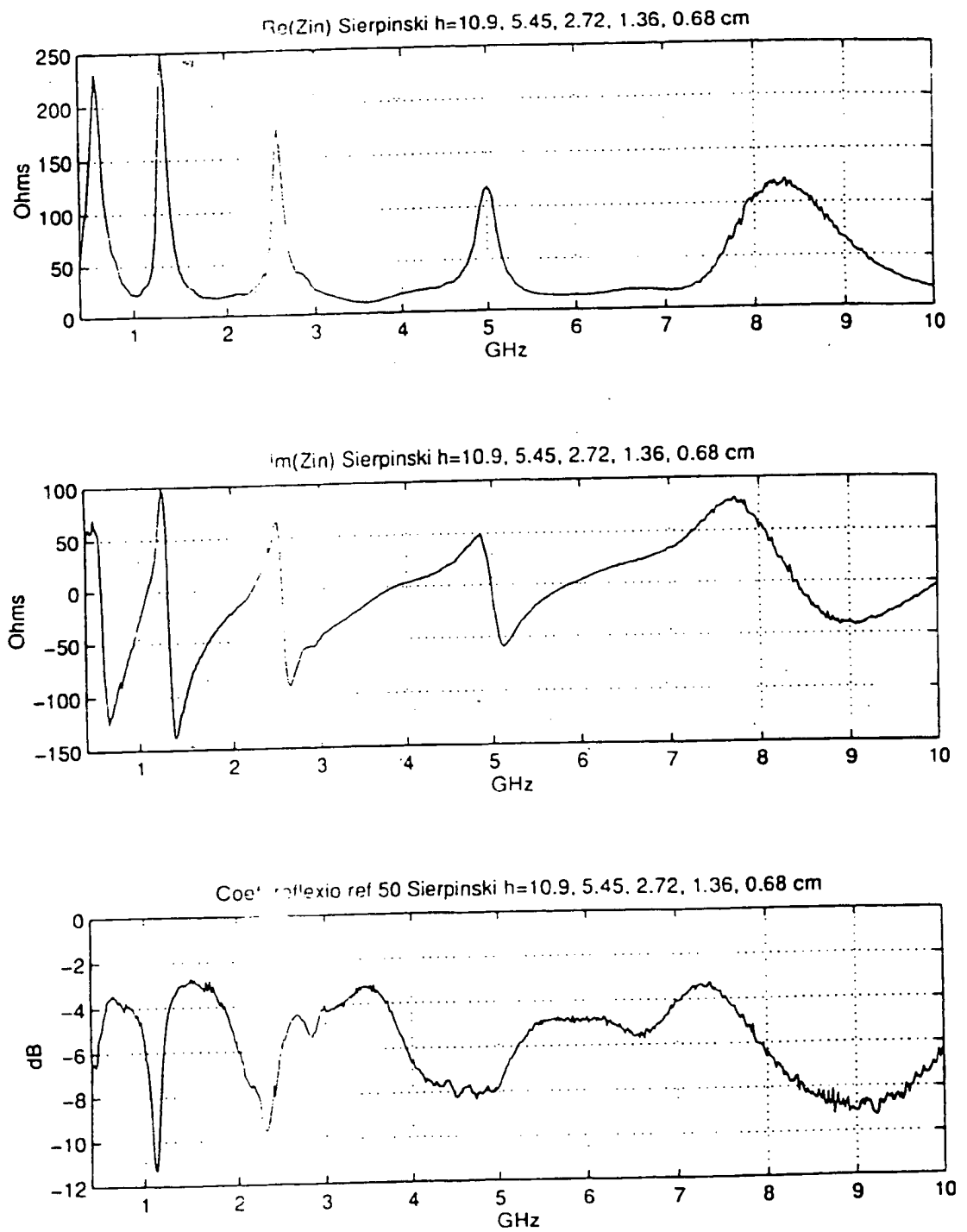


FIG. 13



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA

① ES 2 112 163

② N. solicitud: 9501019

③ Fecha de presentación de la solicitud: 19.05.95

④ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.<sup>8</sup>: H01Q 1/36, 5:00

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	Y. KIM y D.L. JAGGARD. The Fractal Random Array. Proceedings of the IEEE. Volumen 74, n.º 9, Septiembre 1986	1
A	FR-2658619-A (MEGADEP) 23.08.91	
A	US-5245474-A (CHABASSIER et al.) 14.09.93	

**Categoría de los documentos citados**

X: de particular relevancia  
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 05.02.98	Examinador E. Rolán Cisneros	Página 1/1
--	---------------------------------	---------------